

VŠB Technická universita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Stavidlo pro regulaci průtoku vody Water-gate with a Flow Control

Student:

Radim Haluska

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Haluska**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**
Téma: **Stavidlo pro regulaci průtoku vody
Water-gate with a Flow Control**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Navrhněte stavidlo pro regulaci průtoku vody. Pro konstrukci zdvihacího mechanismu použijte pohybový šroub. Stavidlo musí odolat plnému tlaku vody, který na ně působí z jedné strany.

Technické parametry:

- šířka stavidla $B = 1,6 \text{ m}$
- vodní sloupec $H = 1,2 \text{ m}$
- minimální tloušťka dřevěné desky stavidla $s = 60 \text{ mm}$
- minimální zdvihací síla $F = 6,4 \text{ kN}$

Nakreslete sestavu zdvihacího mechanismu a výrobní výkres pohybového šroubu.

Seznam doporučené odborné literatury:

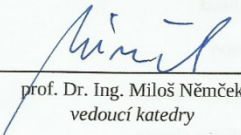
1. BOLEK, A.; KOCHMAN, J.: Části strojů 1. Praha: SNTL, 1990. 775s. ISBN 80-03-00046-7.
2. BOLEK, A.; KOCHMAN, J.: Části strojů 2. Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00046-8.
3. DEJL, Zdeněk. Konstrukce strojů a zařízení I: Spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce. 1. vydání. Ostrava: Montanex a.s., 2000. 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
4. DRASTÍK, František a kol. Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex a.s., 1999. 722 s. ISBN 80-85780-95-X.
5. KRÍŽ, R., VÁVRA, P. Strojírenská příručka. 1. vyd. Praha: 1993-1998. 8 svazků.
6. NĚMČEK, M. : Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje. Druhé vydání Skriptu VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8, 111 s.
7. KALÁB, K.: Části a mechanismy strojů-teorie+projekty, www-stránky kat. 347, 2015.
8. Fotodokumentace (elektronická).
9. Firemní katalogy, prospekty, normy a www-stránky s danou problematikou.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Šárka Hurníková, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Poděkování:

Děkuji Ing. Šárce Hurníkové, Ph.D. za rady, podněty a připomínky při zpracování mé bakalářské práce. A dále panu prof. Dr. Ing. Miloši Němčekovi za ochotu, vstřícnost a cenné rady.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o klasifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Radim Haluska

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dobroslavice, Na Výsluní 222/41, 74794

ANOTACE BAKALAŘSKÉ PRÁCE

HALUSKA, R. *Stavidlo pro regulaci průtoku vody: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2016 .
Vedoucí práce: Hurníková, Š.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a výpočtem konstrukce stavidla pro regulaci průtoku vody. Stavidla jsou jednoduchá zařízení, jejichž konstrukce se liší podle toho, v jakém prostředí budou stavidla sloužit a jaká bude jejich funkce. V úvodu mé práce je provedena přehledná rešerže, kde jsou stavidla rozdělena podle funkce a podle konstrukce. Pak je proveden vlastní návrh stavidla podle zadání. Jeho konstrukce je navržena na výšku vody až 1,6 m a tlak vody 7832,3 Pa. Na základě tohoto návrhu jsou pak provedeny základní pevnostní výpočty. V závěru mé bakalářské práce je provedeno shrnutí, práce je doplněna výkresem sestavy stavidla, výkresem svařovaného rámu stavidla a výrobním výkresem šroubu.

Annotation of bachelor's thesis

HALUSKA, R. *Water-gate with a Flow Control: bachelor's thesis*. Ostrava: Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanism, Supervisor: Hurníková Š.

This bachelor thesis deals with the design and calculation of construction of water-gate with a flow control. Water-gates are simple devices whose construction varies according to the environment in which water-gates will be used to and their function. At the beginning of my bachelor thesis I have clear research where I have water-gates divided by their function and by the design of their construction. Then I made my own project of water-gate according to my assignment. Construction of my water-gate with a flow control is designed for the water level up to 1,6 m and the water pressure up to 7832,3 Pa. On the basis of this project I made calculations of strength. At the conclusion of my bachelor thesis there is summary of my project. To complete my bachelor thesis I add drawing of my water-gate, drawing of the welded frame and drawing of the screw.

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Jednotka	Vyjádření
a	$[m]$	šířka hradící desky
a	$[mm]$	charakteristický rozměr svaru
d	$[mm]$	velký průměr závitu šroubu
d_2	$[mm]$	střední průměr závitu šroubu
d_3	$[mm]$	malý průměr závitu šroubu
f	$[-]$	součinitel tření mezi dřevěnou deskou a U- profilem
f_M	$[-]$	součinitel tření mezi bronzovou maticí a ocelovou deskou
f_z	$[-]$	součinitel smykového tření v závitech
f_0	$[-]$	statický součinitel tření mezi dřevěnou deskou a U - profilem
f_1	$[-]$	dynamický součinitel tření mezi dřevěnou deskou a U - profilem
g	$[-]$	tíhové zrychlení
$h = b$	$[m]$	výška hradící desky
h	$[mm]$	tloušťka profilu
j_{MIN}	$[m]$	minimální kvadratický poloměr průřezu
k_{EU}	$[-]$	vzpěrná bezpečnost podle Eulera
k_s	$[-]$	statická bezpečnost
l	$[mm]$	délka svaru
l	$[mm]$	délka nosníku
m	$[kg]$	hmotnosti součástí
p	$[MPa]$	tlak
p_D	$[MPa]$	snížená hodnota dovoleného měrného tlaku
r	$[mm]$	vzdálenost nejzatíženějšího místa svaru
r	$[m]$	rameno obslužného kola
s	$[mm]$	tloušťka hradící desky
t	$[mm]$	rozměr svaru
x_0	$[m]$	vzdálenost působíště výsledné tlakové síly
z	$[-]$	potřebný počet závitu
D_d	$[mm]$	průměr díry
D_{SK}	$[mm]$	průměr díry pro klíč
E	$[MPa]$	modul pružnosti materiálu
F	$[N]$	síly působící na součásti
G	$[N]$	tíhové síly součástí

H_1	[mm]	nosná hloubka závitu
J_p	[mm ²]	polární moment setrvačnosti
J_x	[mm ²]	osový moment setrvačnosti k ose x
J_x	[m ⁴]	minimální kvadratický moment průřezu
J_y	[mm ²]	osový moment setrvačnosti k ose y
L	[mm]	délka
L_{VZP}	[mm]	vzpěrná délka
$M_{\check{c}}$	[N*m]	moment člověka
M_k	[N*m]	krouticí moment
M_{OMAX}	[MPa]	maximální ohyb
M_{TZ}	[N*m]	moment tření v závitech
M_{TM}	[N*m]	moment tření pod hlavou šroubu a maticí
M_U	[N*m]	utahovací moment
P_h	[-]	stoupání závitu
R_e	[MPa]	mez kluzu
S	[m ²]	plocha hradící desky
S	[mm ²]	průřez celého svarového obrazce
S_x	[m ³]	plocha průřezu
S_1	[mm ²]	průřez jednoho svaru
T	[N]	třecí síla
W_k	[mm ³]	modul svarového obrazce v krutu
W_O	[m ³]	modul průřezu v ohybu
β	[-]	koeficient zohledňující vliv zatím neznámého krutu na výsledné namáhání šroubu
γ	[°]	úhel
δ	[°]	úhel
λ_M	[-]	mezní štíhlost
λ_U	[-]	štíhlost U - profilu
ρ_D	[kg*m ⁻³]	hustota dřeva
ρ_v	[kg*m ⁻³]	hustota vody
σ_D	[MPa]	dovolené napětí
σ_O	[MPa]	ohybové napětí
σ_{RED}	[MPa]	redukované napětí
σ_t	[MPa]	normální napětí v tahu
σ_u	[MPa]	mez úměrnosti materiálu

τ	$[MPa]$	smykové napětí
φ'	$[-]$	redukovaný třecí úhel
ψ	$[-]$	úhel stoupání

1	Úvod	10
2	Rozdělení stavidel	11
2.1	Rozdělení stavidel podle funkce.....	12
2.2	Rozdělení stavidel podle konstrukčního uspořádání	13
2.2.1	Smyková desková stavítka.....	13
2.2.2	Pojizdná celistvá stavidla.....	13
2.2.3	Stavidla s nasazenou klapkou.....	15
2.2.4	Dvoudílná stavidla	15
3	Vlastní návrh	16
4	Výpočty.....	19
4.1	Výpočet tlakové síly vody	19
4.2	Výpočet třecí síly	21
4.3	Výpočet osově síly pro návrh šroubu	22
4.4	Návrh pohybového šroubu ze síly F_0	24
4.5	Výška matice	26
4.6	Utahovací moment M_U	27
4.7	Výpočet ohybu ramen pro obslužnou lávku	29
4.8	Výpočet ohybu horních profilů	31
4.9	Kontrola rámu na vzpěr.....	34
4.10	Kontrola svarů profilů obslužné lávky	36
4.11	Kontrola svaru vrchních profilů	39
5	Závěr.....	42
6	Literatura.....	43
7	Seznam příloh.....	46

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout optimální stavidlo pro regulaci průtoku vody. Je to velmi složitá a krásná věda, protože záleží na mnoha proměnných. Záleží, kde a v jakých podmínkách bude stavidlo sloužit, jak velký tlak vody bude působit na hradící desku, jestli bude potřeba velmi přesná regulace vody, nebo ne a také, co bude převáděno pod nebo nad stavidlem.

V mé bakalářské práci mám za úkol sestavit stavidlo pro regulaci vody na rybníku. Musel jsem se řídit různými omezeními, nebo aspoň minimálními hodnotami, které mi byly zadány - tj. minimální tloušťkou hradící desky, šířkou stavidla, výškou vodního sloupce a minimální zdvihací silou. Kromě šířky stavidla a minimální zdvihací síly jsem při výpočtu všechny hodnoty navýšil z důvodu bezpečnosti. Po výpočtu zdvihací síly jsem pevnostně zkontroloval všechny důležité prvky. Dále jsem nakreslil sestavu celého zdvihacího mechanismu a výrobní výkres pohybového šroubu.

2 Rozdělení stavidel

Stavidla se řadí mezi nejstarší zařízení, pomocí kterých lze regulovat průtok vody.

Stavidlo lze jednoduše popsat jako desku, která se pohybuje ve svislém směru (nahoru a dolů) pomocí zdvihacího mechanismu. Stavidlová deska se vyrábí ze dřeva, nebo z vyztuženého ocelového plechu. Zdvihací mechanismus je ovládán buď ručně, nebo pomocí motoru.



Obr. č. 1: Dřevěné stavidlo [21]

Stavidla lze rozdělit do dvou základních skupin:

- podle funkce
- podle konstrukčního uspořádání

2.1 Rozdělení stavidel podle funkce

Podle funkce dělíme stavidla na ochranná, kašnová a jalová.

- **Ochranné stavidlo**

Během povodní, nebo při opravách náhonu reguluje průtok vody, který je možno i úplně uzavřít.



Obr. č. 2: Ochranné stavidlo [14] **Obr. č. 3:** Kašnové stavidlo [22]

- **Kašnové stavidlo**

Má za úkol uzavření vstupu vody do vodního motoru. Vodní motor je stroj sloužící k přeměně vodní energie na mechanickou práci.

- **Stavidlo jalové**

Stavidlo jalové plní funkci jalového přepadu, slouží pak také k vyplachování nashromážděných nečistot nebo k vyprázdnění náhonu.



Obr. č. 4: Jalové stavidlo [13]

Podle těchto rozdílných funkcí je i jejich rozdílné umístění v jezu.

2.2 Rozdělení stavidel podle konstrukčního uspořádání

Podle konstrukčního uspořádání dělíme stavidla na smyková desková stavitka, pojízdná celistvá stavidla, stavidla s nasazenou klapkou a dvoudílná stavidla.

2.2.1 Smyková desková stavitka

V dnešní době se spíše konstruuje z oceli, ale stále se využívá i dřevo. Hradicí deska je přichycena k obvodovému rámu a v určitých případech vyztužena příčníky nebo podélníky. Rám stavitka je zakotvený ve spodní stavbě a pilířích. Pomocí tohoto rámu je stavitko ovládáno, uloženo a vedeno. Práh rámu tvoří dolní vodorovný prut. Horní vodorovný prut rámu je umístěn dostatečně vysoko nad hladinou vody a je na něm umístěn pohybovací mechanismus. Pohybovací mechanismus musí být navržen tak, aby překonal nejen vlastní tíhu stavidla, ale také smykové tření mezi stavitkem a svislými tyčemi, ve kterých se stavitko pohybuje. Při větších hrazených výškách používáme dvoudílná stavitka. Hradicí deska je navrhována vždy jako volně uložená. Výjimkou jsou případy velkých tuhostí příčníků a podélníků, kdy ji můžeme navrhnout, jako desku po obvodě vetknutou. Pohybující se deska je zavěšena na pohybujících se tyčích (cévové tyče). Tyč se ovládá buď ručně (klika apod.), nebo elektromotorem.

2.2.2 Pojízdná celistvá stavidla

Jestliže hradíme jezová pole větší šířky a výšky, pak používáme ocelová celistvá stavidla uložená na podvozcích. Jsou navržena buď jako zdvižná nebo spustná.

- **Zdvižná stavidla**

Zdvižné stavidlo je celistvé hradicí těleso, které dosedá dolní hranou na jezový práh. Po zvednutí stavidla protéká voda vzniklým otvorem. Tento systém lze využít na propouštění splavenin. U těchto stavidel je problém při převádění plovoucích předmětů, (například ledových ker) a schopnosti přesnějšího udržení hladiny horní vody. Zdvižné stavidlo je celistvé hradicí těleso, kterým uzavíráme jednotlivá jezová pole po celé šířce i hradicí výšce. Je konstruováno o 0,2 až 0,4 m výš než je horní hladina vzduté vody. Počítáme s nečekanými větry, velkou vodou apod. Tímto stavidlem se při změně průtoku udržuje hladina horní vody na konstantní výšce. Voda se odvádí pod zvednutým stavidlem. Tento typ stavidla není vhodný pro přesnější udržování horní hladiny vody. Je vhodný pro šterkonosné řeky. Můžeme pod ním propouštět splaveniny. Nevýhodou těchto stavidel jsou

vysoké pilíře jezů a nepřesné regulace horní hladiny vody výtokem. Používají se pro menší hrazené výšky 2 až 4 m jako uzávěry odběrných toků.



Obr. č. 5: Zdvižné stavidlo [15] **Obr. č. 6:** Zdvižné stavidlo [16]

- **Spustná stavidla**

Úplně spustné stavidlo lze použít při hradicích výškách asi do 3 m. U vyšších konstrukcí se volí stavidlo částečně spustné. Spustné stavidlo nelze použít u šterkonosných řek kvůli nánosů splavenin. Používají se, jestliže v profilu jezu je vysoký jezový práh, za který je možno celé stavidlo spustit. Tyto stavidla, na rozdíl od stavidel zdvižných, umožňují jenom regulaci průtoku pomocí přepadu. Spustná stavidla odstraňují nevýhodu regulace výtokem. Pilíře zde musí být poměrně vysoké pro případ revizí a oprav, aby bylo možno stavidlo vytáhnout nad hladinu. Strojovna také musí být mimo stoletou vodu. Nosná konstrukce musí být ochráněna před přepadajícími krami a předměty. S tímto ohledem musí být navržena přelivná plocha. Prostor drážek je chráněn dostatečně širokými a vysokými bočními štíty, které jsou na bocích stavidla před přepadající vodou. Dolní těsnění spáry mezi spodní stavbou a stavidlem musí být navrženo tak, aby těsnilo v uzavřené poloze, ale zároveň, aby nebylo přitlačováno velkou silou. Velká síla by měla za následek špatný pohyb stavidla.



Obr. č. 7: Spustné stavidlo [17] **Obr. č. 8:** Spustné stavidlo [17]

2.2.3 Stavidla s nasazenou klapkou

Stavidla s klapkou regulují hladinu vody, výtoku i přepadu. Jedná se o zdvižné stavidlo, které má na horním konci otočně upevněnou klapku. Ta umožňuje jemnou regulaci vody. Klapky mohou být úhlové, troubové nebo duté. Nejčastěji se v dnešní době používají duté. Tato stavidla se používají pro hrazené výšky 4 až 8 m. Klapka je navrhována tak, aby hradila 1/4 až 1/3 celkové hrazené výšky a při jejím sklápění nesmí dopadnout voda na hlavní nosný systém a do drážek v pilířích. Proto jsou na obou stranách stavidla připojené boční štíty, které jsou stále nad hladinou a jsou dotěsněné k pilíři na návodní straně. Klapka těsní na bocích na tyto štíty. Vhodně upraveným těsněním, nejčastěji pryžovým, se utěsní vodorovná spára mezi klapkou a stavidlem.



Obr. č. 9: Stavidlo s nasazenou klapkou [18] **Obr. č. 10:** Dvoudílné stavidlo [19]

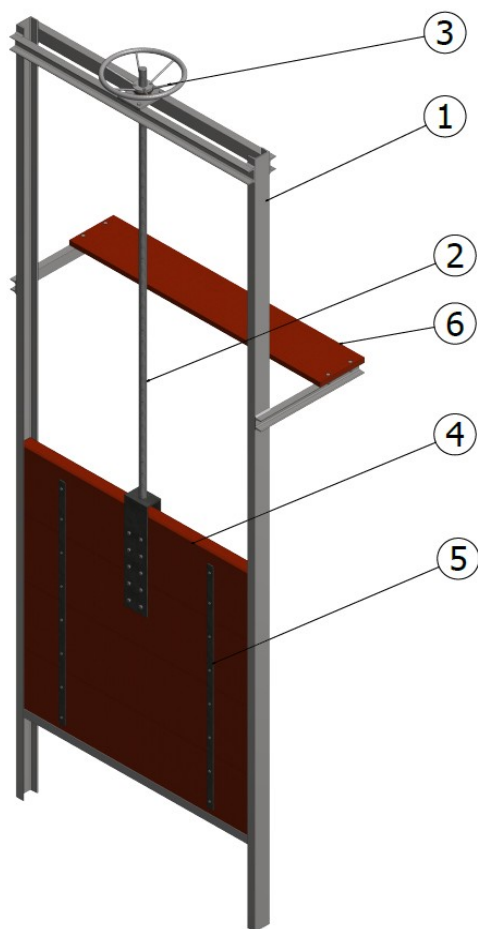
2.2.4 Dvoudílná stavidla

Dvoudílná stavidla regulují hladinu horní vody přepadu i výtoku. Jejich regulace průtoku vody je velmi jemná a přesná. U tohoto stavidla není problém dostat přes jez led, plovoucí předměty, ale i splaveniny. Používají se u velké výšky. Toto se udává od 7 až do 15 m. Každé stavidlo má samostatný pohybový mechanismus. Proto lze současně spouštět jak horní, tak i zdvihnout dolní stavidlo. *„S uzávěrem se manipuluje tak, že se nejprve spouští horní stavidlo a potom se současně zvedají obě stavidla až nad nejvyšší hladinu horní vody.”* Horní díl má regulační funkci hladiny horní vody a umožňuje propouštět ledové kry a plovoucí předměty. Spodní díl umožňuje propouštět splaveniny. Nároky na hradící konstrukci a stavební část jsou v porovnání se stavidlem s nasazenou klapkou shodné, avšak regulační schopnost je zde vyšší.

3 Vlastní návrh

Mým úkolem bylo navrhnout stavidlo pro tyto parametry:

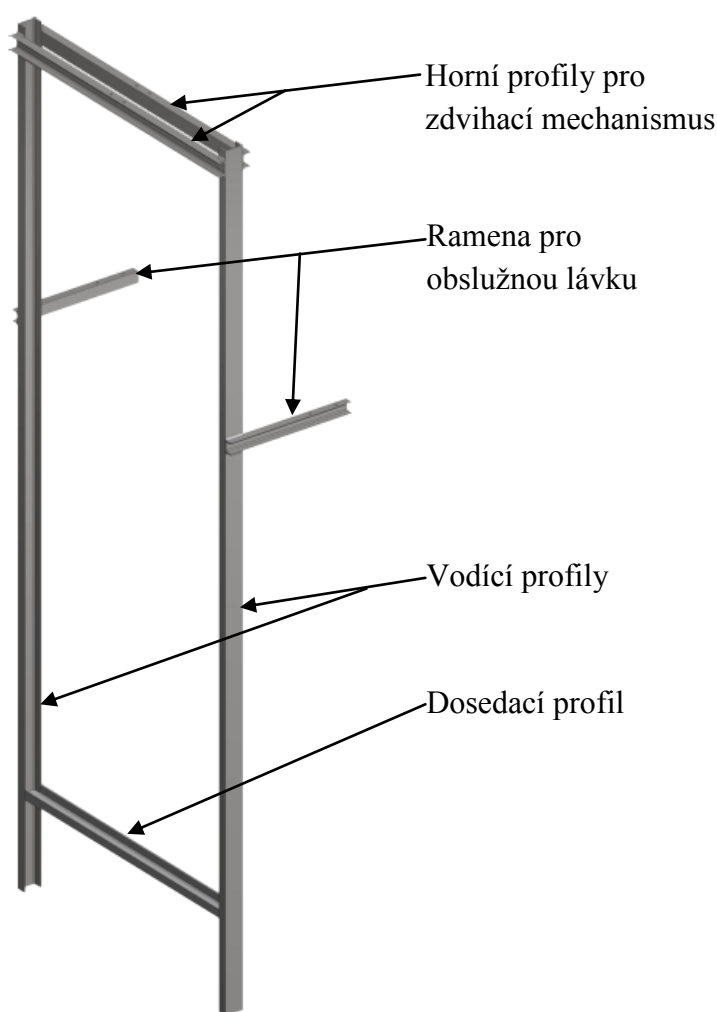
- šířka stavidla: $B = 1,6$ [m]
- vodní sloupec: $H = 1,2$ [m]
- minimální tloušťku dřevěné desky stavidla: $s = 60$ [mm]
- minimální zdvihací síla: $F = 6,4$ [kN]



Obr. č. 11: Vlastní konstrukce stavidla

1. Svařovaná konstrukce rámu
2. Vodící šroub
3. Zdvihací mechanismus
4. Hradící deska
5. Svlačky
6. Obslužná lávka

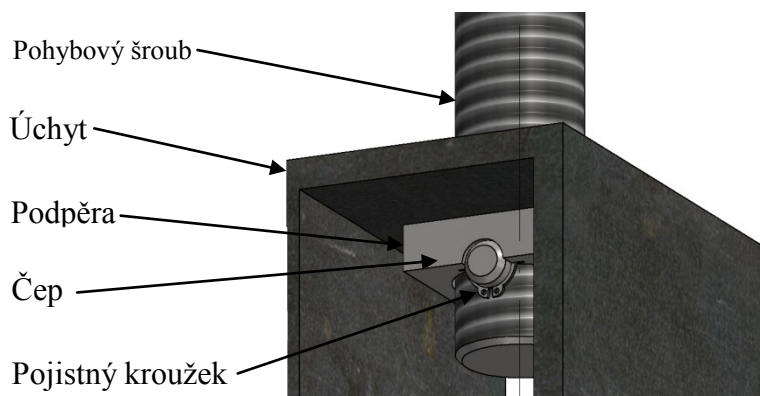
Navrhl jsem jednoduchou konstrukci stavidla s lávkou pro obsluhu. Konstrukce rámu je svařena ze dvou vodících U - profilů (U 100/B ČSN 42 5570 - 11 523.0 - 42 0135.00), ve kterých je vedená hradící deska. A dále je svařena z dosedacího profilu a dvou horních U - profilu (U 80/B ČSN 42 5570 - 11 523.0 - 42 0135.00), na kterých je uložen vodící mechanismus. Lávka pro obsluhu je přišroubována pomocí šroubového spoje (ŠROUB M12 x 50 ISO 4017 - 8.8, MATICE M12 ČSN 02 1402.2, PODLOŽKA 13 ISO 7089 - 8) na dvou U - profilech (U 65/B ČSN 42 5570 - 11 523.0 - 42 0135.00), které jsou přivařeny k vodícím profilům.



Obr. č. 12: Svařovaná konstrukce rámu

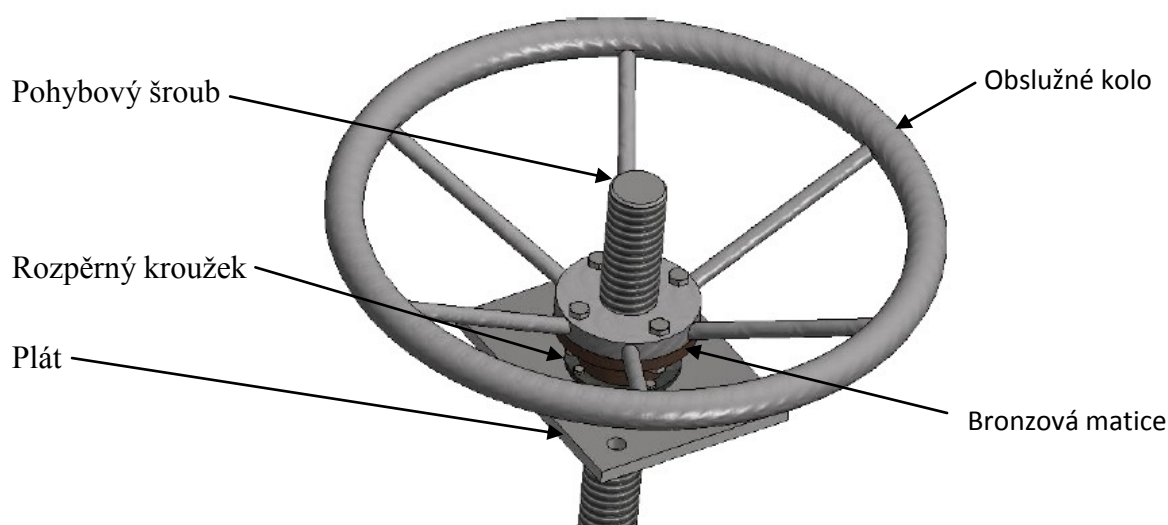
Hradící deska se pohybuje ve svislém směru ve svařovaném rámu pomocí zdvihacího mechanismu. Je tvořena čtyřmi hradícími deskami tloušťky 80 mm, které jsou spojeny čtyřmi svlaky. Svlačky s deskami jsou spojeny šroubovým spojem (ŠROUB M8 x 110 ISO 4017 - 8.8, MATICE M8 ČSN 02 1402.2, PODLOŽKA 8,4 ISO 7089 - 8).

Zdvihací mechanismus je tvořen pohybovým šroubem. Pohybový šroub je připevněn k úchytu pomocí čepu a zajištěný pojistnými kroužky. Čep je umístěn v podpoře, aby se neotáčel. Samotný úchyt je spojen s hradící deskou pomocí šroubového spoje (ŠROUB M10 x 110 ISO 4017 - 8.8, MATICE M10 ČSN 02 1402.2, PODLOŽKA 10,5 ISO 7089 - 8).



Obr. č. 13: Spojení pohybového šroubu s úchytem

Stavidlo je ovládáno pomocí otočného kola, které je přišroubované (ŠROUB M8 x 35 ISO 4017 - 8.8, MATICE M8 ČSN 02 1402.2, PODLOŽKA 8,4 ISO 7089 - 8) k bronzové matici. Ta je umístěna na desce, která je přišroubována k vrchním U - profilům pomocí šroubového spoje (ŠROUB M12 x 35 ISO 4017 - 8.8, MATICE M12 ČSN 02 1402.2, PODLOŽKA 13 ISO 7089 - 8). Bronzová matice byla volena z hlediska velmi malého tření, které vzniká mezi bronzem a ocelí. Matice je zajištěna rozpěrnou trubkou, která je přišroubována k desce (ŠROUB M4 x 20 ISO 4017 - 8.8, MATICE M4 ČSN 02 1402.2, PODLOŽKA 4,3 ISO 7089 - 8), aby se nepohybovala do stran.



Obr. č. 14: Zdvihací mechanismus

4 Výpočty

4.1 Výpočet tlakové síly vody

Nejprve jsem si vypočetl tlakovou sílu, která působí na hradicí desku. Tu jsem vypočetl z hydrostatického tlaku a plochy, na kterou voda působí. Hydrostatický tlak se mění v závislosti na výšce. Proto jsem použil pro výpočet střední hodnotu hydrostatického tlaku, který působí uprostřed hradicí desky. Výšku hradicí desky jsem si zvolil větší z důvodu bezpečnosti při nenadálých změnách zvednutí hladiny rybníku, například při velkých deštích.

- **První způsob (zjednodušený)**

$$F_v = p * S \quad (1)$$

kde

$$p = \frac{1}{2} * \rho * h * g$$

$$S = a * b$$

$b = h = 1,6 \text{ [m]}$ - (počítám s nepředvídatelnými jevy)

$a = 1,6 \text{ [m]}$ - zadaná šířka hradicí desky

$\rho = 998 \text{ [kg * m}^{-3}\text{]}$ - hustota vody

Po dosazení dostaneme pro výpočet tlakové síly výsledný vzorec:

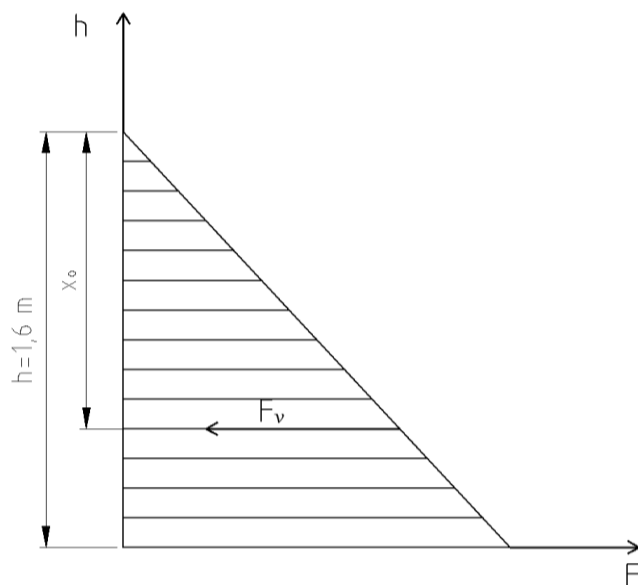
$$F_v = \frac{1}{2} * h * \rho * g * a * b$$

$$F_v = \frac{1}{2} * 1,6 * 998 * 9,81 * 1,6 * 1,6$$

$$F_v = 20050,7 \text{ [N]}$$

- **Druhý způsob (odvození)**

Hradicí desku si můžeme rozdělit na malé plošné elementy, přičemž v hloubce ($h-x$) pod povrchem bude na tyto elementy působit tlaková síla F_v . Celková síla je dána součtem všech jednotlivých elementárních sil neboli integrálem. Výpočtem určitého integrálu v mezích od 0 do h dostaneme stejný vztah pro výpočet tlakové síly jako v zjednodušeném případě. Smáčenou desku stavidla si rozdělíme na malé plošné elementy:



Obr. č. 15: Tlaková síla působící na hradící desku ve výšce x_0

$$dS = a * dx$$

$$dF_v = (h - x) * \rho * g * dS = (h - x) * \rho * g * a * dx$$

$$F_v = \int_0^h (h - x) * \rho * g * a * dx = \int_0^h h * \rho * g * a * dx - \int_0^h x * \rho * g * a * dx \quad (2)$$

$$F_v = [h * \rho * g * a * x]_0^h - \left[\frac{x^2}{2} * \rho * g * a \right]_0^h$$

$$F_v = \frac{1}{2} * h^2 * \rho * g * a$$

$$F_v = \frac{1}{2} * 1,6^2 * 998 * 9,81 * 1,6$$

$$F_v = 20050,7 \text{ [N]}$$

Vzdálenost x_0 je působiště výsledné tlakové síly od základny. Tuto vzdálenost vypočteme jako podíl výsledné tlakové síly k součtu všech momentů tlakových sil na jednotlivé složky.

$$F_v * x_0 = \int_0^h x dF \quad (3)$$

$$x_0 = \frac{\int_0^h x dF}{F_v}$$

$$x_0 = \frac{\int_0^h x(h-x) * \rho * g * a * dx}{\frac{1}{2} * S * h * \rho * g}$$

$$x_0 = \frac{\left[\frac{x^2}{2} * h * \rho * g * a\right]_0^h - \left[\frac{x^3}{3} * \rho * g * a\right]_0^h}{\frac{1}{2} * S * h * \rho * g}$$

$$x_0 = \frac{\frac{1}{2} * h}{\frac{1}{2}} - \frac{\frac{1}{3} * h}{\frac{1}{2}}$$

$$x_0 = \frac{1}{3} * h$$

$$x_0 = \frac{1}{3} * 1,6$$

$$x_0 = 0,533 \text{ [m]}$$

Vypočítané působíště nám ukázalo, že výsledná tlaková síla nepůsobí uprostřed hradící desky, ale v její $\frac{1}{3}$ výšky h . V mé práci počítám se zjednodušeným způsobem, kdy síla působí v polovině hradící desky.

4.2 Výpočet třecí síly

Třecí sílu vypočítáme jako součin tlakové síly vody a součinitele smykového tření mezi dřevěnou deskou a U profilem. Tento součinitel se nedá určit přesně, záleží na spoustě aspektů (kde ten strom rostl, jeho stáří, zda je dřevo suché a nebo mokré atd.). Pro součinitel jsem našel dvě hodnoty.

$$T = F_v * f \tag{4}$$

f - součinitel tření mezi dřevěnou deskou a U profilem

$f_0 = 0,55$ pohyb zde začíná v klidu

$f_1 = 0,35$ součinitel smykového tření v pohybu

Volím součinitel smykového tření f_0 , protože pohyb začíná z klidu.

Po dosazení

$$T = 20050,7 * 0,55$$

$$T = 11027,89 \text{ [N]}$$

4.3 Výpočet osově síly pro návrh šroubu

Osovou sílu, ze které navrhnu šroub, pak tedy spočítám z třecí síly T , tíhové síly desek G_D , tíhové síly svlaku G_S , tíhové síly úchyty G_U , tíhové síly čepu G_C , tíhové síly podpěry G_P a tíhové síly pojistného kroužku G_{pk} . Tíhovou sílu šroubových spojů zanedbávám, protože je velmi malá.

$$F_0 = T + G_D + G_S + G_U + G_C + G_P + G_{RT} \quad (5)$$

- **Výpočet tíhové síly desek G_D**

$$G_D = m_D * g \quad (6)$$

$$G_D = V * \rho$$

$$G_D = a * b * s * \rho * g$$

kde

$$a, b = 1600 \text{ [mm]}$$

$$s = 80 \text{ [mm]} - \text{tloušťka desky}$$

$$\rho = 675 \text{ [kg * m}^{-3}\text{]} - \text{ hustota dřeva (dub), v tabulkách se udává v rozmezí } \rho = 630 \div 720 \text{ [kg * m}^{-3}\text{]}$$

Neodečítám vyvrtané díry v deskách, protože nemůžu určit přesnou hustotu dřeva ρ . Dřevo má jinou hustotu za sucha, za mokra, podle toho v jakém prostředí roste. Je mnoho aspektů podle kterých se mění hustota dřeva.

$$G_D = 1600 * 1600 * 80 * 675 * 9,81$$

$$G_D = 1356,13 \text{ [N]}$$

- **Výpočet tíhové síly úchyty G_U**

Pro úchyt na šroub jsem stanovil hmotnost m pomocí programu Autodesk Inventor professional 2015 pro běžnou ocel o hustotě $\rho = 7850 \text{ kg * m}^{-3}$. Hmotnost je tedy rovna $m_U = 16,227 \text{ kg}$

$$G_U = m_U * g \quad (7)$$

$$G_U = 16,227 * 9,81$$

$$G_U = 159,19 \text{ [N]}$$

Stejný postup jsem použil i pro ostatní součásti.

- **Výpočet tíhové síly svlaku G_S**

Hmotnost svlaku je rovna $m_S = 3,610 \text{ kg}$.

$$G_S = m_S * g \quad (8)$$

$$G_S = 4 * 3,610 * 9,81$$

$$G_S = 141,66 \text{ [N]}$$

Výsledek je zvětšený 4x, protože mám čtyři svlaky.

- **Výpočet tíhové síly pojistného kroužku G_{pk}**

Hmotnost pojistného kroužku je rovna $m_{pk} = 0,001 \text{ kg}$

$$G_{pk} = 2 * m_{pk} * g \quad (9)$$

$$G_{pk} = 2 * 0,001 * 9,81$$

$$G_{pk} = 0,02 \text{ [N]}$$

Výsledek je zvětšen 2x, protože máme dva pojistné kroužky.

- **Výpočet tíhové síly podpěry G_P**

Hmotnost podpěry je rovna $m_P = 0,172 \text{ kg}$

$$G_P = m_P * g \quad (10)$$

$$G_P = 0,172 * 9,81$$

$$G_P = 1,69 \text{ [N]}$$

- **Výpočet tíhové síly čepu $G_{\check{c}}$**

Hmotnost čepu je rovna $m_{\check{c}} = 0,064 \text{ kg}$

$$G_{\check{c}} = m_{\check{c}} * g \quad (11)$$

$$G_{\check{c}} = 0,064 * 9,81$$

$$G_{\check{c}} = 0,63 \text{ [N]}$$

Po dosazení do vztahu je pak osová síla:

$$F_0 = 11027,89 + 1356,13 + 141,66 + 159,19 + 0,63 + 1,69 + 0,02$$

$$F_0 = 12687,21 \text{ [N]}$$

4.4 Návrh pohybového šroubu ze síly F_0

Předběžně si navrhujeme velikost závitu šroubu z pevnostní podmínky pro prosté tahové namáhání.

Koeficient β zohledňuje vliv zatím neznámého krutu na výsledné namáhání šroubu. Volím $\beta = 1,3 [-]$. Z tabulek následně vyhledám normalizovanou velikost lichoběžníkového závitu a provedu pevnostní kontrolu.

$$\beta * \sigma_t \leq \sigma_{Dt} \quad (12)$$

$$\frac{F_0}{\frac{\pi}{4} * d_3^2} \leq \frac{R_e}{k_s}$$

$$R_e = 314 \text{ [MPa]} - \text{pro materiál šroubu 11 600}$$

$$k_s = 3 [-]$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 * k_s * \beta * F_0}{\pi * R_e}} \quad (13)$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 * 3 * 1,3 * 12687,21}{\pi * 314}}$$

$$d_3 \geq 14,16 \text{ [mm]}$$

Ze strojnických tabulek volím Tr40x7

$$d_3 = 32 \text{ mm}$$

$$d_2 = 36,5 \text{ mm}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$P = P_h = 7$$

- **Pevnostní kontrola navrženého šroubu**

V závitové části je nejvíce namáhán šroub tahem a krutem.

- Normální napětí v tahu - σ_t

$$\sigma_t = \frac{F_0}{\frac{\pi}{4} * d_3^2} \quad (14)$$

$$\sigma_t = \frac{12687,21}{\frac{\pi}{4} * 32^2}$$

$$\sigma_t = 15,78 \text{ [MPa]}$$

- Smykové napětí krutu - τ

$$\tau = \frac{M_{TZ}}{W_K} \quad (15)$$

$$\tau = \frac{F_0 * \operatorname{tg}(\varphi' + \Psi) * \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi}{16} * d_3^3}$$

Tabulka č. 1: Součinitel smykového tření v závitech [10]

Kombinace materiálů	f_z [-]	
	nemazány	mazány MoS ₂
ocel - ocel	0,18 ÷ 0,35	0,12 ÷ 0,18
ocel - litina	0,20 ÷ 0,30	0,13 ÷ 0,24
ocel - bronz	0,11 ÷ 0,15	0,10 ÷ 0,13

Volím součinitel smykového tření $f_z = 0,12$

$$\Psi = \operatorname{arctg} \frac{P_h}{(\pi * d_2)} = \operatorname{arctg} \frac{7}{\pi * 36,5} = 3,4933^\circ \quad (16)$$

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,12}{\cos 15^\circ} = 7,0818^\circ \quad (17)$$

Rovnoramenný závit

$$\Psi \leq \varphi' \quad (18)$$

$$3,4933 \leq 7,0818 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$\tau = \frac{12687,21 * \operatorname{tg}(7,0818 + 3,4933) * \frac{36,5}{2}}{\frac{\pi}{16} * 32^3}$$

$$\tau = 6,72 \text{ [MPa]}$$

Z vypočtených napětí provedu pevnostní kontrolu podle Guestovy hypotézy.

$$\sigma_{\text{RED}} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 * \tau^2} \leq \sigma_D \quad (19)$$

$$\sigma_{\text{RED}} = \sqrt{15,78^2 + 4 * 6,72^2}$$

$$\sigma_{\text{RED}} = 20,73 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} \quad (20)$$

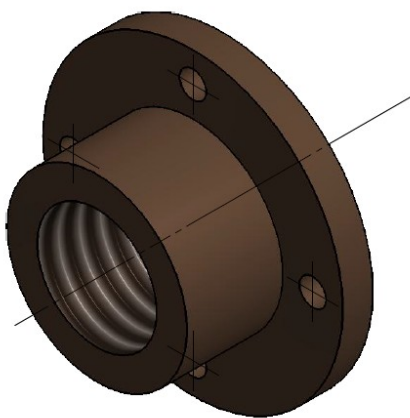
$$\sigma_D = \frac{314}{3}$$

$$\sigma_D = 104,67 \text{ [MPa]}$$

$$20,73 \leq 104,67 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.5 Výška matice

Při výpočtu matice nepřímo vycházím z kontroly měrného tlaku v závitech, který má největší vliv na velikost opotřebení závitů šroubu a matice. Počítám za zjednodušujících podmínek, kdy předpokládám že osová síla F_o působí rovnoměrně na všechny závity matice. Z kontroly tlaku v závitech matice plyne potřebný počet závitů z . Sníženou hodnotou dovoleného měrného tlaku p_D se respektuje tření mezi závity a nerovnoměrné rozdělení tlaku v závitech. Ve skutečnosti největší zatížení nesou první závity matice. Dovolенý měrný tlak volím podle tabulky č. 2. Ke zmenšení tření v závitech volím k ocelovému šroubu bronzovou matici, která má lepší třecí vlastnosti a je odolnější vůči opotřebení.



Obr. č. 16: Bronzová matice

Tabulka č. 2: Dovolené hodnoty měrného tlaku v závitech [10]

Mat.šroubu	Materiál matice	p_D [MPa]
Ocel	ocel s větší tvrdostí (11 423)	20
	LLG šedá litina GJL-250 (42 2425)	10
	cínová bronz CuAl10Fe3Mn2 (42 3046)	15

$$p = \frac{F_0}{\pi * d_2 * H_1 * z} \leq p_D \quad (21)$$

$$z \geq \frac{F_0}{\pi * d_2 * H_1 * p_D}$$

$$z \geq \frac{12687,21}{\pi * 36,5 * 3,5 * 15}$$

$$z \geq 2,11 \text{ [mm]}$$

kde nosná hloubka závitu:

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2} = \frac{40 - 33}{2} = \frac{7}{2} = 3,5 \quad (22)$$

potřebnou výšku matice tedy určím jako součin potřebného počtu závitu a rozteče:

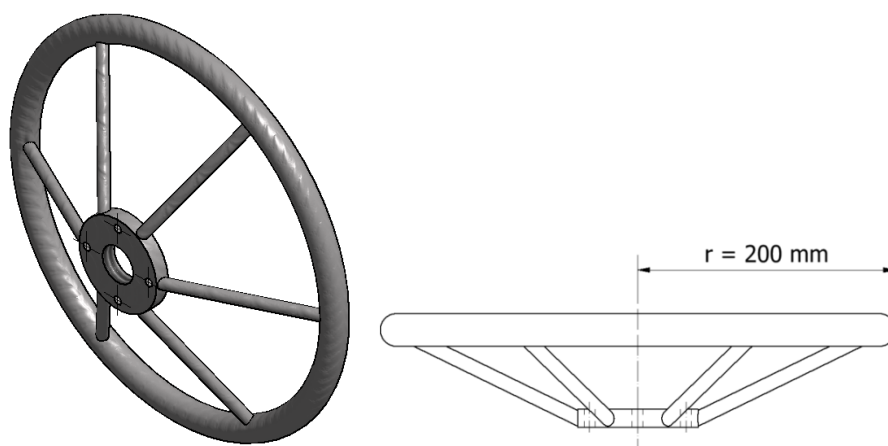
$$h_M = z * P_h \quad (23)$$

$$h_M = 2,11 * 7$$

$$h_M = 14,77 \text{ [mm]}$$

Volím výšku matice 42 mm.

4.6 Utahovací moment M_U



Obr. č. 17: Obslužné kolo

Pro danou osovou sílu F_0 musíme navrhnout obslužné kolo, se kterým budeme otáčet. Obslužné kolo bude navrženo pro člověka se silou $F_{\zeta} = 300 \text{ N}$ a rameno $r = 200 \text{ mm}$. Utahovací moment M_U musí být menší nebo roven momentu člověka M_{ζ} .

$$M_U = M_{TZ} + M_{TM} \quad (24)$$

$$M_{TZ} = F_{TZ} * \frac{d_2}{2} = F_0 * \operatorname{tg}(\varphi' + \Psi) * \frac{d_2}{2} \quad (25)$$

$$M_{TM} = F_{TM} * \frac{D_{TM}}{2} = F_0 * f_M * \frac{D_{TM}}{2} = F_0 * f_M * \frac{D_d + D_{SK}}{4} \quad (26)$$

$D_d = 42 \text{ mm}$ - ze strojnických tabulek

$D_{SK} = 60 \text{ mm}$ - z výrobního výkresu matice

$$M_U = F_0 * \operatorname{tg}(\varphi' + \Psi) * \frac{d_2}{2} + F_0 * f_M * \frac{D_d + D_{SK}}{4}$$

Tabulka č. 3: Součinitele tření mezi materiály [12]

Materiál 1	Materiál 2	Statický, suchý povrch	Dynamický, suchý povrch	Statický, mastný povrch	Dynamický, mastný povrch	Zkušební metoda
Hliník	Hliník	1,05-1,35	1,4	0,3	-	-
Hliník	Ocel	0,61	0,47	-	-	-
Brzdové Materiál	Šedá litina	0,4	-	-	-	-
Brzdové Materiál	Šedá litina (mokrá)	0,2	-	-	-	-
Mosaz	Šedá litina	-	0,3	-	-	-
Cihla	Dřevo	0,6	-	-	-	-
Bronz	Šedá litina	-	0,22	-	-	-
Bronz	Ocel	-	-	0,16	-	-
Kadmium	Kadmium	0,5	-	0,05	-	-
Kadmium	Ocel	-	0,46	-	-	-
Šedá litina	Šedá litina	1,1	0,15	-	0,07	-
Šedá litina	Dub	-	0,49	-	75	-
Chrómový	Chrómový	0,41	-	0,34	-	-
Měď	Šedá litina	1,05	0,29	-	-	-
Měď	Měď	1	-	0,08	-	-
Měď	Ocel	0,53	0,36	-	0,18	-
Měď	Ocel	-	0,8	-	-	SPOF
Měď	Ocel (304 nerez)	0,23	0,21	-	-	FOF
Bronz olověný	Ocel	0,22	-	-	-	-
Diamant	Diamant	0,1	-	0,05 - 0,1	-	-

Volím $f_M = 0,16 [-]$

$$M_U = 12687,21 * \operatorname{tg}(7,0818 + 3,4933) * \frac{36,5}{2} + 12687,21 * 0,16 * \frac{42 + 60}{4}$$

$$M_U = 95 [\text{N} * \text{m}]$$

$$M_{\zeta} = 2 * r * F_{\zeta} \quad (27)$$

$$M_{\zeta} = 2 * 0,2 * 300$$

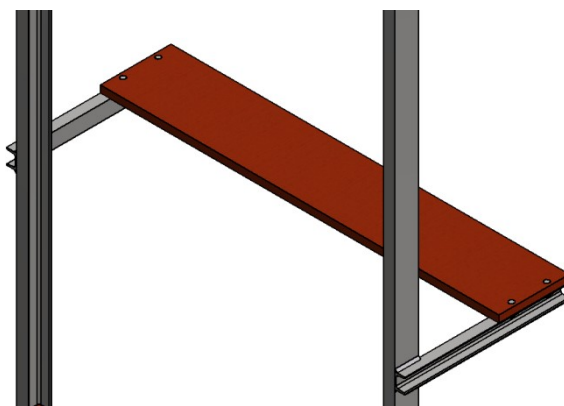
$$M_{\check{c}} = 120 \text{ [N * m]}$$

$$M_{\check{c}} \geq M_U \quad (28)$$

$r = 0,2 \text{ [m]}$ - rameno navrženého obslužného kola

$$120 \geq 95 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.7 Výpočet ohybu ramen pro obslužnou lávku



Obr. č. 18: Konstrukce obslužné lávky

Zvolil jsem si profil ramen U 65/B ČSN 42 5570 - 11 523.0 - 42 0135.00.

Do výpočtu zahrnuji hmotnost člověka $m_{\check{c}} = 100 \text{ kg}$, který manipuluje se zdvihacím mechanismem a hmotnost desky $m_d = 12 \text{ kg}$, na které stojí. Do výpočtu nezahrnuji hmotnosti čtyř šroubových spojení, kterými je spojena deska s U profily, protože jejich tíhová síla je velmi malá.

$$F_{C1} = F_{\check{c}} + F_d \quad (29)$$

kde

$$F_{\check{c}} = m_{\check{c}} * g = 100 * 9,81 = 981 \text{ [N]} \quad (30)$$

a

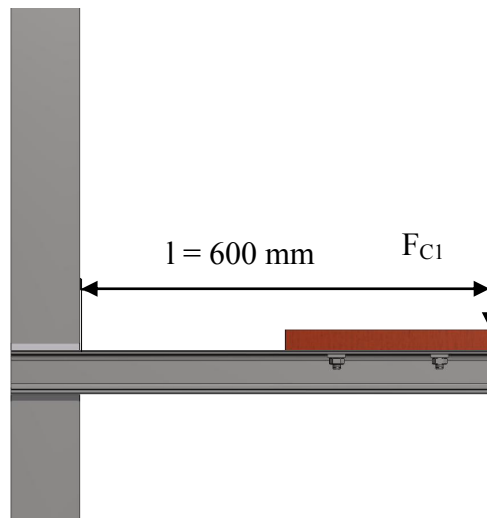
$$F_d = m_d * g = 12 * 9,81 = 117,72 \text{ [N]} \quad (31)$$

pak

$$F_{C1} = 981 + 117,72$$

$$F_{C1} = 1098,72 \text{ [N]}$$

- Výpočet maximálního ohybu M_{OMAX}



Obr. č. 19: Zatížení ramene

$$M_{OMAX} = \frac{F_{C1}}{2} * l \quad (32)$$

$$M_{OMAX} = \frac{1098,72}{2} * 600$$

$$M_{OMAX} = 329,616 \text{ [N * m]}$$

Maximální ohyb je vypočítaný jen pro jedno rameno.

- Výpočet ohybové napětí σ_0

Ohybové napětí počítám s celkovou silou pro případ, že by si člověk stoupl na kraj obslužné lávky a celou svou váhou zatěžoval pouze jedno rameno.

$$\sigma_0 = \frac{M_{OMAX}}{W_0} \leq \sigma_D \quad (33)$$

$W_0 = 17,7 \text{ cm}^3$ - modul průřezu v ohybu, který jsem zjistil ze strojnických tabulek

$$\sigma_0 = \frac{F_{C1} * l}{W_0} \leq \sigma_D$$

$$\sigma_0 = \frac{1098,72 * 600}{0,0000177}$$

$$\sigma_0 = 37,24 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} \quad (34)$$

$R_e = 333 \text{ [MPa]}$ pro materiál 11 523

$k_s = 3$ ze [12]

$$\sigma_D = \frac{333}{3}$$

$\sigma_D = [111] \text{ MPa}$

$$\sigma_0 \leq \sigma_D \quad (35)$$

$37,24 \leq 111 \rightarrow \text{Vyhovuje}$

4.8 Výpočet ohybu horních profilů



Obr. č. 20: Konstrukce horních profilů

Zvolil jsem si tyče průřezu U typu U 80/B ČSN 42 5570 - 11 523.0 - 42 0135.00. Tyto tyče musím zkontrolovat na ohyb. Nejprve si musíme vypočíst celkovou sílu, která bude zatěžovat nosníky. Maximální síla F_{MAX} je rovna součtu osově síly F_0 , tíhové síly šroubu G_ξ , tíhové síly obslužného kola G_K , tíhové síly matice G_M , tíhové síly plátu, na kterém je položen zdvihový mechanismus G_P a tíhové síly rozpěrného kroužku G_{RK} , který zabraňuje, aby se šroub vychýlil ze své osy. Všechny šroubové spoje jsou opět zanedbávány, protože jejich tíhová síla je velmi malá.

- **Výpočet maximální síly F_{MAX}**

$$F_{MAX} = F_0 + G_\xi + G_K + G_M + G_P + G_{RK} \quad (36)$$

- **Výpočet tíhové síly vodícího šroubu G_{ξ}**

Pro vodící šroub jsem stanovil hmotnost m_{ξ} pomocí programu Autodesk Inventor professional 2015. Hmotnost šroubu je $m_{\xi} = 25,598 \text{ kg}$.

$$G_{\xi} = m_{\xi} * g \quad (37)$$

$$G_{\xi} = 25,598 * 9,81$$

$$G_{\xi} = 251,12 \text{ [N]}$$

Stejný postup jsem použil i pro ostatní součásti.

- **Výpočet tíhové síly obslužného kola G_K**

Hmotnost obslužného kola je rovna $m_K = 7,125 \text{ kg}$

$$G_K = m_K * g \quad (38)$$

$$G_K = 7,125 * 9,81$$

$$G_K = 69,9 \text{ [N]}$$

- **Výpočet tíhové síly matice G_M**

Hmotnost matice je rovna $m_M = 1,05 \text{ kg}$

$$G_M = m_M * g \quad (39)$$

$$G_M = 1,05 * 9,81$$

$$G_M = 10,3 \text{ [N]}$$

- **Výpočet tíhové síly plátu G_P**

Hmotnost plátu je rovna $m_P = 2,079 \text{ kg}$

$$G_P = m_P * g \quad (40)$$

$$G_P = 2,079 * 9,81$$

$$G_P = 20,4 \text{ N}$$

- **Výpočet tíhové síly rozpěrného kroužku G_{RK}**

Hmotnost rozpěrného kroužku je rovna $m_{RK} = 0,061 \text{ kg}$

$$G_{RK} = m_{RK} * g \quad (41)$$

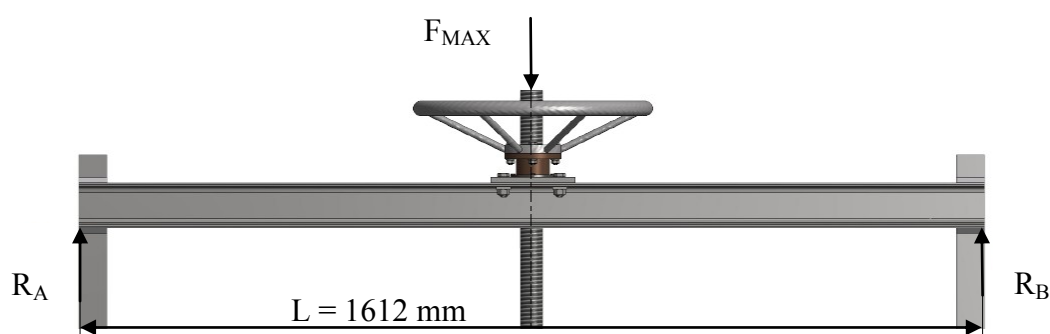
$$G_{RK} = 0,061 * 9,81$$

$$G_{RK} = 0,6 \text{ [N]}$$

$$F_{MAX} = 12687,21 + 251,12 + 69,9 + 10,3 + 20,4 + 0,6$$

$$F_{MAX} = 13039,53 \text{ [N]}$$

- **Výpočet maximálního ohybu M_{OMAX}**



Obr. č. 21: Zatížení horních profilů

$$R_A = R_B = \frac{F_{MAX}}{2} \quad (42)$$

$$M_{OMAX} = \frac{F_{MAX}}{2} * \frac{L}{2}$$

$$M_{OMAX} = \frac{13039,53 * 1612}{4}$$

$$M_{OMAX} = 5254,93 \text{ [N * m]}$$

Maximální ohyb je vypočítaný jen pro jeden horní profil.

- **Výpočet ohybové napětí σ_o**

Ohybové napětí pro horní profily počítáme s maximálním ohybem M_{OMAX} , pro oba horní profily.

$$\sigma_o = \frac{M_{OMAX}}{2 * W_o} \leq \sigma_D \quad (43)$$

$W_o = 26,5 \text{ cm}^3$ - modul průřezu, který jsem zjistil ze strojnických tabulek

$$\sigma_o = \frac{5254,93}{2 * 0,0000265}$$

$$\sigma_o = 99,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} \quad (44)$$

$R_e = 333 \text{ [MPa]}$ pro materiál 11 523

$k_s = 3$ ze [12]

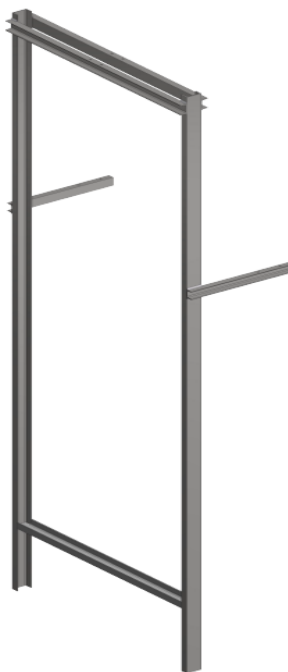
$$\sigma_D = \frac{333}{3}$$

$$\sigma_D = 111 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_0 \leq \sigma_D \quad (45)$$

$$99,15 \leq 111 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

4.9 Kontrola rámu na vzpěr

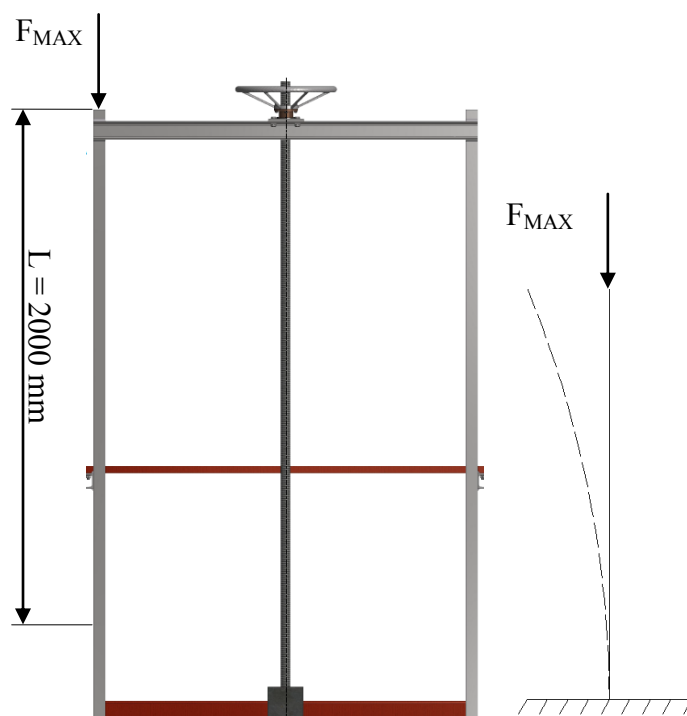


Obr. č. 22: Konstrukce vodících profilů

Kontroluji součást U 100/B ČSN 42 5570 - 11 523.0 - 42 0135.00. Délkou profilů kontrolovanou na vzpěr 2000 mm bereme až od začátku horních profilů.

Dlouhé a štíhlé součásti musíme kontrolovat na vzpěr. Při určité kritické síle F_{KR} vybočí, čímž se tlakové namáhání změní na kombinované namáhání v tlaku a ohybu. Kombinované namáhání vyvolává ztrátu stability tvaru. Křehká součást se zlomí a houževnatá se ohne. O kontrole na vzpěr rozhoduje štíhlost součásti λ . Jestliže je $\lambda \leq \lambda_{KR} = 30$ součást nemusíme kontrolovat na vzpěr, pokud je ale $\lambda > 30$, tak součást

musíme kontrolovat na vzpěr. Podle velikosti λ je kontrola stability buď podle Eulera $\lambda_U \geq \lambda_M$, nebo Tetmayera $30 < \lambda < \lambda_M$.



Obr. č. 23: Zatížení vodících profilů a průběh vybočení



Obr. č. 24: Mez vzpěrné pevnosti - kritické napětí σ_{KR} houževnatého materiálu v závislosti na štíhlosti λ [12]

$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ [MPa]}$ - modul pružnosti materiálu

$J_x = 206 \text{ [cm}^4\text{]}$

$S_x = 24,5 \text{ [cm}^3\text{]}$

$\lambda_U \geq \lambda_M$

(46)

$68,96 \geq 50,93 \rightarrow \text{Vyhovuje}$

$$\lambda_U = \frac{L_{VZP}}{j_{MIN}} = \frac{2000}{29} = 68,96 \quad (47)$$

$$j_{MIN} = \sqrt{\frac{J_{MIN}}{S}} = \sqrt{\frac{206 * 10^{-4}}{24,5 * 10^{-3}}} = 29 [mm] \quad (48)$$

$$\lambda_M = \pi * \sqrt{\frac{n * E}{\sigma_u}} = \pi * \sqrt{\frac{\frac{1}{4} * 2,1 * 10^5}{199,8}} = 50,93 \quad (49)$$

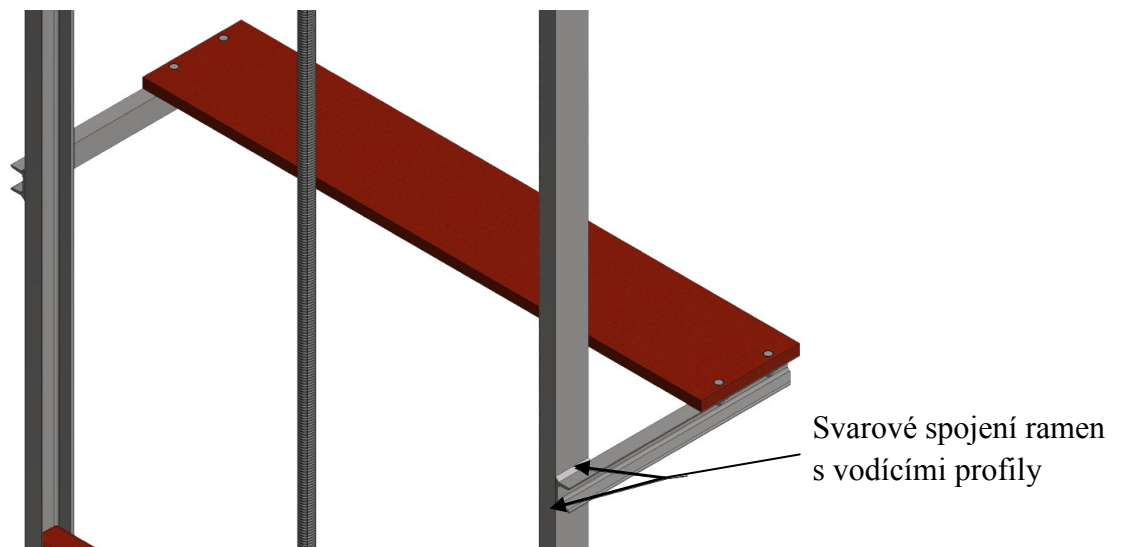
$$\sigma_u = 0,6 * Re = 0,6 * 333 = 199,8 MPa \quad (50)$$

$$F_{KR} = n * \frac{\pi^2 * E * J_{MIN}}{L_{VZP}^2} = \frac{1}{4} * \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^5 * 206 * 10^4}{2000^2} = 266849,43 [N] \quad (51)$$

$$k_{EU} = \frac{F_{KR}}{F_{MAX}} \geq 2,5 \div 3,5 \quad (52)$$

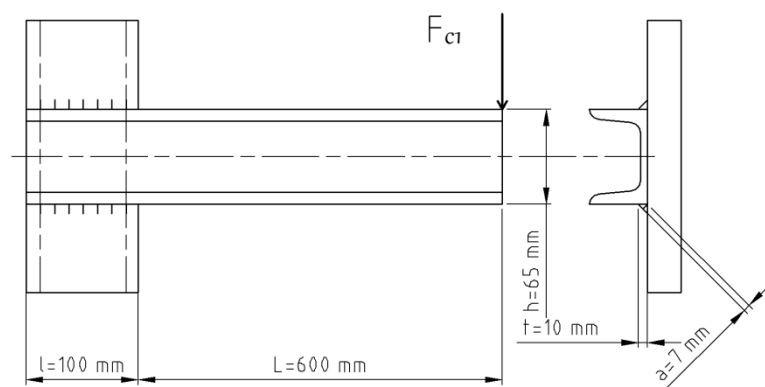
$$k_{EU} = \frac{266849,43}{13039,53} = 20,5 \rightarrow Vyhovuje$$

4.10 Kontrola svarů profilů obslužné lávky



Obr. č. 25: Přivařená ramena obslužné lávky

Svary jsou od síly F_{C1} zatíženy na krut krouticím momentem. Ohybový moment zanedbáváme v důsledku velmi malého ramene.



Obr. č. 26: Provedení koutových svaru

$$F_{C1} = 1094,62 \text{ N} \rightarrow \frac{F_{C1}}{2} = 547,31 \text{ [N]} \quad (53)$$

Krouticí moment

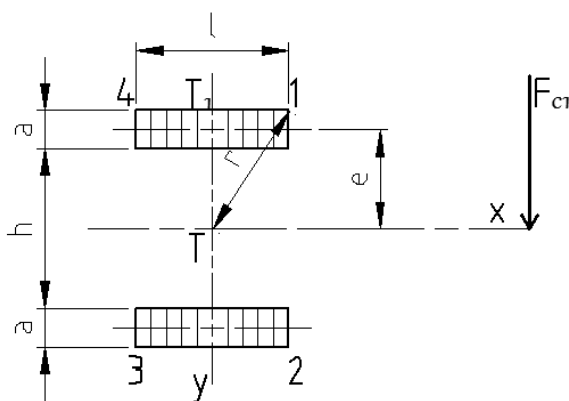
$$M_K = \frac{F_{C1}}{2} * \left(\frac{l}{2} + L \right) = 547,31 * \left(\frac{0,1}{2} + 0,6 \right) = 355,75 \text{ [N * m]} \quad (54)$$

Průřez celého svarového obrazce

$$S = 2 * a * l = 2 * 7 * 100 = 1400 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (55)$$

Průřez pouze jednoho svaru

$$S_1 = a * l = 7 * 100 = 700 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (56)$$



Obrázek č. 27

Dále si vypočítáme osové momenty setrvačnosti horní poloviny svarového obrazce k jeho těžišti T_1 podle obr. č. 27.

$$J_{x1} = \frac{1}{12} * l * a^3 \quad (57)$$

$$J_{y1} = \frac{1}{12} * l^3 * a \quad (58)$$

Polární moment setrvačnosti horní poloviny svarového obrazce k jeho těžišti T_1 podle obr. č. 4.10.

$$J_{p1} = J_{x1} + J_{y1} = \frac{1}{12} * l * a^3 + \frac{1}{12} * l^3 * a \quad (59)$$

$$J_p = 2 * (J_{p1} + S_1 * e^2) = 2 * \left(\frac{l * a^3}{12} + \frac{l^3 * a}{12} + a * l * \left(\frac{h+a}{2} \right)^2 \right) = a * l * \left(\frac{l^2 * a^2}{6} + \frac{(h+a)^2}{2} \right)$$

$$J_p = 7 * 100 * \left(\frac{100^2 + 7^2}{6} + \frac{(65+7)^2}{2} \right) = 2,987 * 10^6 [mm^4]$$

Vzdálenost nejzatíženějšího místa svaru (nejvzdálenějšího od těžiště T)

$$r = \sqrt{\left(\frac{h}{2} + a \right)^2 + \left(\frac{l}{2} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{65}{2} + 7 \right)^2 + \left(\frac{100}{2} \right)^2} = 63,72 [mm] \quad (60)$$

Modul svarového obrazce v krutu

$$W_k = \frac{J_p}{r} = \frac{4,496 * 10^6}{63,72} = 70,56 * 10^3 [mm^3] \quad (61)$$

Kritickým místem svaru bude jeden ze 4 nejvzdálenějších rohů. Tato místa jsou označena 1 až 4. Napětí τ^{Mk} bude ve všech místech stejně velké, ale bude mít různý směr.

Dílní napětí od síly F_{C1}

$$\tau_{\perp}^{Fc1} = \frac{\frac{F_{C1}}{2}}{S} = \frac{547,31}{1400} = 0,4 [MPa] \quad (62)$$

$$\tau^{Mk} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{355,75 * 10^3}{70,56 * 10^3} = 5,04 [MPa] \quad (63)$$

$$k_3 = 0,9$$

$$\tau_S^F = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{Fc1}}{k_3} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,4}{0,9} \right)^2} = 0,44 [MPa] \quad (64)$$

$$\gamma = \arctg \left(\frac{\frac{l}{2}}{\frac{h}{2} + a} \right) = \arctg \left(\frac{\frac{100}{2}}{\frac{65}{2} + 7} \right) = 51,7^\circ \quad (65)$$

$$\tau_S^{Mk} = \frac{\tau^{Mk}}{k_3} = \frac{5,04}{0,9} = 5,6 [MPa] \quad (66)$$

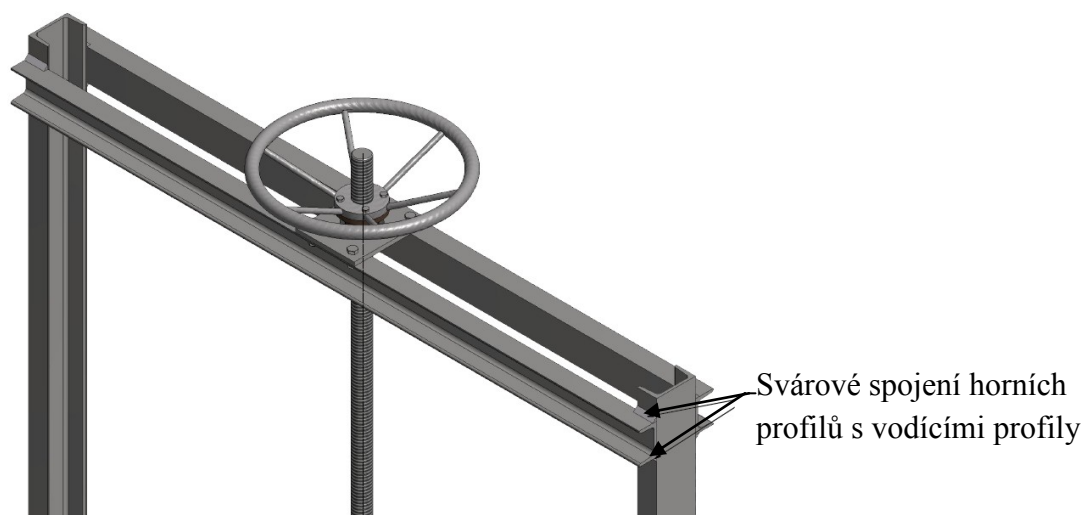
$$\delta = 180^\circ - \gamma + \varphi = 180^\circ - 51,7^\circ + 0^\circ = 128,3^\circ \quad (67)$$

$$\tau_{s1} = \sqrt{(\tau_S^F)^2 + (\tau_S^{Mk})^2 - 2 * \tau_S^F * \tau_S^{Mk} * \cos \delta} \quad (68)$$

$$\tau_{s1} = \sqrt{(0,44)^2 + (5,6)^2 - 2 * 0,44 * 5,6 * \cos 128,3}$$

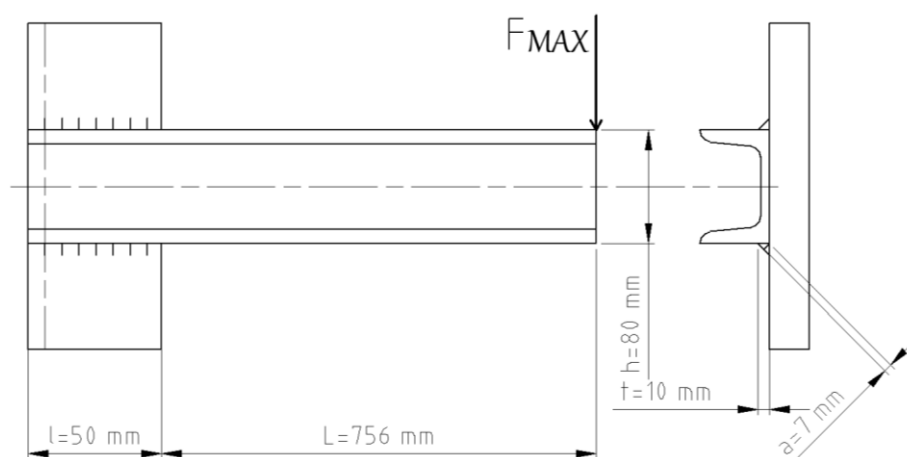
$$\tau_{s1} = 5,9 \text{ [MPa]}$$

4.11 Kontrola svaru vrchních profilů



Obr. č. 28: Přivaření horních profilů

Pro svary u vrchních profilů platí to samé jako pro svary u ramen obslužné lávky. Svary jsou od síly F_{MAX} zatíženy na krut kroutícím momentem. Ohybový moment zanedbáváme v důsledku velmi malého ramene.



Obr. č. 29: Provedení koutových svarů

$$F_{MAX} = 13039,53 \text{ N} \rightarrow \frac{F_{MAX}}{4} = 3259,88 \text{ [N]} \quad (53)$$

Krouticí moment

$$M_K = \frac{F_{MAX}}{4} * \left(\frac{l}{2} + L \right) = 3259,88 * \left(\frac{0,05}{2} + 0,756 \right) = 2545,97 \text{ [N * m]} \quad (54)$$

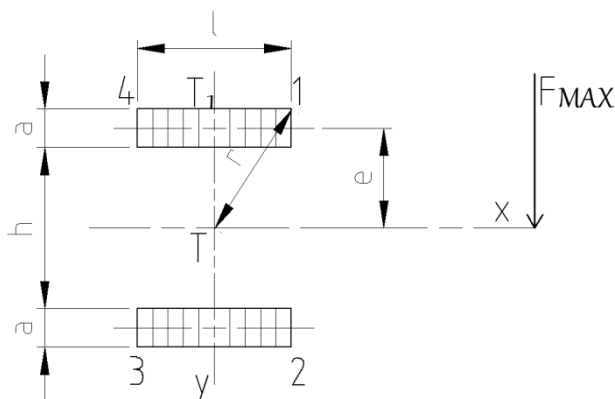
Průřez celého svarového obrazce

$$S = 2 * a * l = 2 * 7 * 50 = 700 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (55)$$

Průřez pouze jednoho svaru

$$S_1 = a * l = 7 * 50 = 350 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (56)$$

Dále si vypočítáme osové momenty setrvačnosti horní poloviny svarového obrazce k jeho těžišti T_1 podle obr. č. 30.



Obrázek č. 30

$$J_{x1} = \frac{1}{12} * l * a^3 \quad (57)$$

$$J_{y1} = \frac{1}{12} * l^3 * a \quad (58)$$

Polární moment setrvačnosti horní poloviny svarového obrazce k jeho těžišti T_1 podle obrázku.

$$J_{p1} = J_{x1} + J_{y1} = \frac{1}{12} * l * a^3 + \frac{1}{12} * l^3 * a \quad (59)$$

$$J_p = 2 * (J_{p1} + S_1 * e^2) = 2 * \left(\frac{l * a^3}{12} + \frac{l^3 * a}{12} + a * l * \left(\frac{h+a}{2} \right)^2 \right) = a * l * \left(\frac{l^2 * a^2}{6} + \frac{(h+a)^2}{2} \right)$$

$$J_p = 7 * 50 * \left(\frac{7^2 + 50^2}{6} + \frac{(80 + 7)^2}{2} \right) = 1,47 * 10^6 [mm^4]$$

Vzdálenost nejzatíženějšího místa svaru (nejvzdálenějšího od těžiště T)

$$r = \sqrt{\left(\frac{h}{2} + a\right)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{80}{2} + 7\right)^2 + \left(\frac{50}{2}\right)^2} = 53,24 [mm] \quad (60)$$

Modul svarového obrazce v krutu

$$W_k = \frac{J_p}{r} = \frac{1,47 * 10^6}{53,24} = 27,61 * 10^3 [mm^3] \quad (61)$$

Kritickým místem svaru bude jeden ze 4 nejvzdálenějších rohů. Tato místa jsou označena 1 až 4. Napětí τ^{Mk} bude ve všech místech stejně velké, ale bude mít různý směr.

Dílčí napětí od síly F_{MAX}

$$\tau_{\perp}^{F_{MAX}} = \frac{\frac{F_{MAX}}{4}}{S} = \frac{3171,8}{700} = 4,53 [MPa] \quad (62)$$

$$\tau^{Mk} = \frac{M_k}{W_k} = \frac{2545,97 * 10^3}{27,61 * 10^3} = 92,21 [MPa] \quad (63)$$

$$k_3 = 0,9$$

$$\tau_S^F = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{F_{MAX}}}{k_3}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4,53}{0,9}\right)^2} = 5,03 [MPa] \quad (64)$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{\frac{1}{2}}{\frac{h}{2} + a}\right) = \arctg\left(\frac{\frac{50}{2}}{\frac{80}{2} + 7}\right) = 28,09^\circ \quad (65)$$

$$\tau_S^{Mk} = \frac{\tau^{Mk}}{k_3} = \frac{92,21}{0,9} = 102,46 [MPa] \quad (66)$$

$$\delta = 180^\circ - \gamma + \varphi = 180^\circ - 28,09^\circ + 0^\circ = 151,91^\circ \quad (67)$$

$$\tau_{s1} = \sqrt{(\tau_S^F)^2 + (\tau_S^{Mk})^2 - 2 * \tau_S^F * \tau_S^{Mk} * \cos \delta} \quad (68)$$

$$\tau_{s1} = \sqrt{(5,03)^2 + (102,46)^2 - 2 * 5,03 * 102,46 * \cos 151,91}$$

$$\tau_{s1} = 106,92 [MPa]$$

5 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout stavidlo pro regulaci průtoku vody a toto stavidlo poté pevnostně zkontrolovat.

Nejprve jsem prostudoval existující typy stavidel, jejich rozdělení dle funkcí i dle konstrukce, na kterou jsem se následně zaměřil. Na základě teoretické studie jsem pak navrhl vlastní konstrukci stavidla, které je konstruováno na výšku vody 1,6 m. Zadání bylo na výšku vody 1,2 m. Rozdíl 0,4 m mezi zadáním a navrženou konstrukcí je pro případ vyšší hladiny vody (například u povodní). Toto stavidlo je ovládáno ručně pomocí kola, které je našroubováno k bronzové matici. Tu jsem zvolil na základě malého součinitele tření mezi bronzem a ocelí. Rám je navržený z oceli a hradící deska stavidla z dubového dřeva. Jednotlivé části stavidla kromě svařovaného rámu jsou spojeny šroubovými spoji. Výhodou tohoto řešení je možnost provést výměnu v případě poškození jednotlivých částí.

Technická dokumentace obsahuje veškeré potřebné výpočty, které bylo nutno použít při konstrukčním návrhu a zpětné kontrole jednotlivých komponentů.

6 Literatura

- [1] MEDŘICKÝ, Vladimír a Petr VALENTA. *Hydrotechnické stavby I: Navrhování jezů*. Druhé přepracované. Praha 6: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2009. ISBN 978-80-01-04309-7.
- [2] GABRIEL, Pavel, Teodor GRANDTNER, Miroslav PRŮCHA a Pavel VÝBORA. *Jezy*. První. Praha 1: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. L17-C3-IV-31f/78330.
- [3] NĚMČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: Spoje*. Druhé vydání. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008. ISBN 978-80-248-1782-8.
- [4] BOLEK, A. a J. KOCHMAN. *Části strojů I*. Praha: SNTL, 2008. ISBN 80-03-00046-7.
- [5] BOLEK, A. a J. KOCHMAN. *Části strojů 2*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00046-8.
- [6] DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I: Spojovací části strojů. Návrh, výpočet, konstrukce*. 1. vydání. Ostrava: Montanex a.s., 2000. ISBN 80-7225-018-3.
- [7] DRASTÍK, František a kol. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*: 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex a.s., 2000. ISBN 80-85780-95-X.
- [8] KRÍŽ, R. a P. VÁVRA. *Strojírenská příručka*: 1. vyd. Praha, 1993-1998, 8 svazků.
- [9] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů: Části spojovací*. Ostrava, 2013. PDF Skripta. VŠB-TUO.
- [10] KALÁB, Květoslav. *Konstrukční návrh, výpočet a údržba ručního šroubového zvedáku*. Ostrava, 2014. Vysokoškolská příručka. VŠB-TUO.

- [11] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření. První. Praha 1: ALBRA - pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-86490-74-2.
- [12] <http://e-konstrukter.cz/>. [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [13] <http://www.p-s.cz.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=jalov%C3%A9stavidlo&biw=1455&bih=726&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiCvOO1y-3LAhUH_SwKHUjiAFgQsAQIMg#imgsrc=T5vIm8r5iNfpLM%3A
- [14] <https://www.google.cz.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=stavidla+s+klapkou&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHjZXlxebLAhWDiiwKHT2bDm8Q_AUIBigB#tbm=isch&q=ochrane+stavidlo&imgsrc=iwtn9Pyi_CPtfM%3A
- [15] <http://www.p-s.cz.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=stavidla+s+klapkou&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHjZXlxebLAhWDiiwKHT2bDm8Q_AUIBigB#tbm=isch&q=stavidlo&imgsrc=0EB3EJ1PPs0F0M%3A
- [16] <http://www.sevcik-vz.cz.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.sevcik-vz.cz/mapa-referenci-detail.php?reference=273&?skip=1>
- [17] <http://www.kanusport.at/.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.kanusport.at/cechy/labe.aspx?ID_reky=8&kilo=jezy
- [18] <https://www.google.cz.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=stavidla+s+klapkou&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiHjZXlxebLAhWDiiwKHT2bDm8Q_AUIBigB#tbm=isch&q=stavidlo+s+klapkou&imgsrc=cjHmA5XjrkKukM%3A
- [19] <https://commons.wikimedia.org.> [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rybn%C3%ADk_Jure%C4%8Dek,_stavidlo.jpg

- [20] <http://mve.energetika.cz/>. [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnidilo/stavidlo.htm>
- [21] <https://www.google.cz>. [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=d%C5%99ev%C4%9Bn%C3%A9+stavidlo&biw=1455&bih=726&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjcnvTku_HLAhWE3SwKHa_dA80Q_AUIBigB#tbm=isch&q=mlyny-na-oblazoch2.jpg&imgref=lEgSIw4QHxmWYM%3A
- [22] <http://www.google.com>. [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: https://www.google.cz/search?q=ka%C5%A1nov%C3%A1+stavidla&biw=1745&bih=890&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiPw5COkprMAhVD1RQKHXPYAg4Q_AUIBygC#tbm=isch&q=dvojity-zvedak-stavidel-haacon-1285-original.jpg&imgref=u0nBBEzBxEDzzM%3A

7 Seznam příloh

- | | | |
|----|---------------------------------------|------------------|
| 1. | Bakalářská práce na CD | |
| 2. | Sestavný výkres zdvihacího mechanismu | SB3KSS - 03 - 01 |
| 3. | Sestavný výkres svařence | SB3KSS - 03 - 02 |
| 4. | Výrobní výkres pohybového šroubu | SB3KSS - 03 - 03 |